

УДК 621.395

DOI: 10.31673/2412-9070.2021.032226

Л. А. КИРПАЧ, канд. техн. наук, доцент;

Н. В. БЛАЖЕННИЙ, ст. викладач;

О. І. ГОЛУБЕНКО, канд. техн. наук,

Державний університет телекомунікацій, Київ

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗУ АТМОСФЕРНО-ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ

Здійснено постановку задачі структурного синтезу атмосферно-оптичної системи та досліджено методи визначення критеріїв ефективності атмосферно-оптичних систем, що є однією з найважливіших та суттєвих задач у процесі їх оптимізації.

Аналіз методик оцінювання впливу радіоактивного випромінювання на атмосферно-оптичні лінії зв'язку (АОЛЗ) свідчить, що створені до сьогодні цілісні методики оцінюють вплив радіаційних ефектів в елементній базі щодо впливу тільки проникаючої радіації.

Отже, існування недоліків у наявних методиках не дає можливості в повному обсязі розв'язати наукову задачу з оцінювання впливу радіоактивного випромінювання на приймачі АОЛЗ як основи для розроблення рекомендацій, спрямованих на збереження значень виявлювальної здатності приймача за умов впливу радіоактивного випромінювання.

Вирішення такої задачі можливе в разі створення вхідних даних для методики, що мала б змогу враховувати етапність і тривалість за часом формування зони радіоактивного зараження, агрегатний склад суміші радіонуклідів аварійного викиду, енергетичні й активнісні характеристики цієї суміші і характеристики адсорбційно-десорбційної взаємодії суміші радіоактивних речовин із поверхнями пристроїв, а також зважала б на особливості впливу наслідків на приймачі АОЛЗ.

Формалізовано постановку задачі синтезу атмосферно-оптичної системи з визначенням характеристик варіантів структури.

Ключові слова: атмосферно-оптична система; керування; алгоритм; показник ефективності; функція; методи.

Вступ

Для визначення оптимальної структури атмосферно-оптичної системи і значень її параметрів необхідно поставити наукове завдання та розробити математичний апарат, який забезпечуватиме формалізовану постановку завдання для подальшого проведення досліджень щодо оцінювання впливу радіоактивного випромінювання на приймачі атмосферно-оптичних ліній зв'язку (АОЛЗ).

Процес визначення синтезу структури атмосферно-оптичної системи загалом передбачає такі основні етапи:

- вибір задач керування, покладених на технічні засоби атмосферно-оптичної системи;
- вибір алгоритмів їх реалізації;
- формування загальної структури атмосферно-оптичної системи і розподіл вибраних задач по вузлах і рівнях атмосферно-оптичної системи;
- визначення комплексу технічних засобів у вузлах атмосферно-оптичної системи і їх взаємозв'язків.

Наведені етапи створення атмосферно-оптичної системи взаємно пов'язані, і задачі кожного з них вирішуються з огляду на ресурси, виділені на створення атмосферно-оптичної системи. Вибрана структура атмосферно-оптичної системи вважається оптимальною, якщо досягається максимум (мінімум) вибраного показника ефективності, що відбиває основні властивості атмосферно-оптичної системи з погляду виконання поставлених задач.

Основна частина

На етапі структурного синтезу функції атмосферно-оптичної системи подаються як сукупність взаємозв'язаних задач, які, зі свого боку, можуть бути розбиті на сукупності операцій. За відомими характеристиками операцій і їх взаємозв'язками можна отримати відповідні характеристики задач.

Під час формалізації взаємозв'язків між функціями зазвичай береться до уваги порядок слідування операцій і їхня тривалість (часові зв'язки), а також обсяг інформації, що циркулює в атмосферно-оптичній системі (об'ємні зв'язки). Формалізація взаємозв'язків зазвичай здійснюється на основі теорії графів. Наявні постановки задачі синтезу структури атмосферно-оптичної системи можуть різнитися за таких умов:

- задано або підлягає вибору велика кількість розв'язуваних задач;
- задано або підлягають вибору взаємозв'язки між задачами (часові, об'ємні, об'ємно-часові);

- задано або підлягають вибору елементи атмосферно-оптичної системи (комплекс технічних засобів);
- враховується чи не враховується територіальне розташування елементів;
- задано або підлягають вибору зв'язки між елементами атмосферно-оптичної системи;
- враховується чи не враховується можливість виконання задачі в кількох елементах (розпаралелювання виконання задачі).

Водночас уже сформалізовані постановки задачі структурного синтезу атмосферно-оптичної системи можуть різнитися: а) видом показників ефективності; б) типом врахованих характеристик елементів; в) видом обмежень, накладених на враховані ресурси (часові, техніко-економічні тощо). Під час вирішення задачі структурного синтезу атмосферно-оптичної системи застосовуються різні моделі і методи. Широкого поширення дістали моделі математичного, а також дискретного програмування через комбінаторний характер багатьох задач. Розглянемо постановку задачі синтезу атмосферно-оптичної системи як системи керування складним об'єктом [1].

Вважатимемо, що передбачувана топологія розміщення можливих вузлів (центрів) керування атмосферно-оптичною системою відома, функції керування зазначено як послідовні задачі, котрі потрібно розподілити між вузлами. Отже, на етапі побудови структури атмосферно-оптичної системи спочатку функції (задачі) ($i = 1, 2, \dots, I$) необхідно розподілити між вузлами ($j = 1, 2, \dots, Y$), а потім вибрати алгоритмічні способи реалізації функцій ($k = 1, 2, \dots, k_j$), типи технічних засобів у вузлах атмосферно-оптичної системи ($l = 1, 2, \dots, L$) і варіанти організації каналів зв'язку між вузлами атмосферно-оптичної системи. Водночас маємо брати до уваги такі техніко-економічні характеристики атмосферно-оптичної системи, як витрати на створення A і експлуатацію B , оперативність, яка характеризується тривалістю виконання циклу керування T , надійність атмосферно-оптичної системи P , масу W , енергоспоживання E тощо [2; 3]. При цьому доцільно зважати на те, що із підвищенням якості інформації та збільшенням її обсягу кількість інформації в системі стрімко зростає [4-6].

Для формалізації постановки задачі введемо такі змінні: $x_{ikjl} = 1$, якщо i -та задача розв'язується за k -м варіантом у j -му вузлі атмосферно-оптичної системи за допомогою l -го технічного засобу; $x_{jl} = 1$, якщо j -й вузол обладнується l -м технічним засобом; $x_{jj'} = 1$, якщо необхідно створити канал зв'язку між вузлами j і j' ; $x_{ikjl} = x_{jl} = x_{jj'} = 0$ — в іншому разі. Кожний варіант побудови структури атмосферно-оптичної системи повинен мати лише один спосіб розподілу задач по вузлах атмосферно-оптичної системи і один спосіб виконання кожної задачі, враховуючи обмеження

$$\sum_{k,j,l} x_{ikjl} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, I. \quad (1)$$

Змінні x_{jl} , $x_{jj'}$ залежать від x_{ikjl} і використовуються для зручного запису аналітичних виразів розрахунку різноманітних характеристик варіантів структури:

$$x_{jl} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \sum_{i,k} x_{ikjl} \geq 1; \\ 0, & \text{якщо } \sum_{i,k} x_{ikjl} = 0; \end{cases} \quad (2)$$

$$x_{jj'} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \sum_{i,k,i',k',l,l'} x_{ikjl} x_{i'j'k'l'} \geq 1; \\ 0, & \text{якщо } \sum_{i,k,i',k',l,l'} x_{ikjl} x_{i'j'k'l'} = 0. \end{cases}$$

Для визначення характеристик варіантів структури атмосферно-оптичної системи введемо такі позначення: A_l — вартість технічного засобу l або витрати на розроблення і виготовлення перспективних засобів; $A_{jj'}$ — вартість створення каналу зв'язку, включно з вартістю технічних засобів приймання і передавання інформації між вузлами j і j' ; A_{ikjl} — витрати на розроблення інформаційного і математичного забезпечення розв'язання i -ї задачі в k -му варіанті в j -му вузлі за наявності l -го технічного засобу; B_{ikjl} — експлуатаційні затрати на розв'язання i -ї задачі в k -му варіанті в j -му вузлі за наявності l -го технічного засобу; $B_{ij(i+1)j'}$ — витрати на передавання інформації від i -ї задачі, розв'язуваної в j -му вузлі, до $(i+1)$ -ї задачі, розв'язуваної в j' -му вузлі; t_{ikjl} — час розв'язання i -ї задачі k -м варіантом в j -му вузлі при наявності l -го технічного засобу; $t_{ij(i+1)j'}$ — час передавання інформації i -ї задачі, розв'язуваної в j -му вузлі, до $(i+1)$ -ї задачі, розв'язуваної в j' -му вузлі; P_{ikjl} — надійність вирішення задачі (технічного засобу), зумовлена чи ймовірністю безвідмовної роботи, чи її функцією; $P_{ij(i+1)j'}$ — надійність передавання інформації (каналу зв'язку) атмосферно-оптичної системи, зумовлена як і P_{ikj} ; W_l — маса технічного засобу; E_l — енергоспоживання технічного засобу.

Скориставшись уведеними позначеннями, запишемо формули для визначення характеристик варіантів структури атмосферно-оптичної системи.

До капітальних витрат A належать вартість технічних засобів у вузлах, вартість створення каналів зв'язку між вузлами атмосферно-оптичної системи, витрати на розроблення алгоритмів виконання задач:

$$A = \sum_{l,j} A_l x_{lj} + \sum_{j,j'} A_{jj'} x_{jj'} + \sum_{i,k,j,l} A_{ikjl} x_{ikjl}. \quad (3)$$

Експлуатаційні витрати B охоплюють витрати на виконання задач із керування і витрати на передавання інформації між вузлами атмосферно-оптичної системи:

$$B = \sum_{i,k,j,l} B_{ikjl} x_{ikjl} + \sum_{k',i,k,j,l,j',l'} B_{ij(i+1)j'} x_{ikjl} x_{(i+1)k'j'l'}. \quad (4)$$

Час виконання циклу керування, що визначає оперативність, обчислюється аналогічно:

$$T = \sum_{i,k,j,l} t_{ikjl} x_{ikjl} + \sum_{k',i,k,j,l,j',l'} t_{ij(i+1)j'} x_{ikjl} x_{(i+1)k'j'l'}. \quad (5)$$

Якщо атмосферно-оптична система піддається значному радіаційному впливу, то вона вважатиметься невідновлювальною, у результаті чого її надійність, що характеризується ймовірністю безвідмовної роботи елементів, дорівнюватиме добутку ймовірностей безвідмовної роботи елементів:

$$\bar{P} = \sum_{i,k,j,l} \bar{P}_{ikjl} x_{ikjl} + \sum_{k',i,k,j,l,j',l'} \bar{P}_{ij(i+1)j'} x_{ikjl} x_{(i+1)k'j'l'}, \quad (6)$$

де $P, P_{ikjl}, P_{ij(i+1)j'}$ — логарифми відповідних величин.

Маса і енергоспоживання технічних засобів у вузлах атмосферно-оптичної системи розраховуються відповідно за формулами

$$W_j = \sum_{k,j,l} W_l x_{ikjl};$$

$$E_j = \sum_{k,j,l} E_l x_{ikjl}, \quad j = 1, 2, \dots, J. \quad (7)$$

У процесі розв'язання задачі синтезу структури будь-яка із зазначених характеристик може бути вибрана як показник ефективності (залежно від мети і призначення системи), який оптимізується, а інші враховуються в обмеженнях. Тому в загальному вигляді задача оптимізації структури атмосферно-оптичної системи набере такого вигляду:

$$f(x_{ikjl}, x_{jl}, x_{jj'});$$

$$f_s(x_{ikjl}, x_{jl}, x_{jj'}) \leq D_s, \quad s = 1, 2, \dots, S;$$

$$\sum_{k,j,l} x_{ikjl} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, I;$$

$$x_{ikjl} = (0; 1); \quad x_{jl} = (0; 1); \quad x_{jj'} = (0; 1). \quad (8)$$

Із наведеної постановки задачі синтезу структури атмосферно-оптичної системи за умов впливу радіоактивного випромінювання доходимо висновку, що вона є моделлю дискретного програмування і має комбінаторний характер. Під час вирішення таких задач виникають труднощі принципового характеру, а саме: потрібно вилучити явний надлишок усіх допустимих рішень, прагнучи до ефективного часткового надлишку порівняно малої кількості прийнятних варіантів розв'язання задачі синтезу структури атмосферно-оптичної системи і неявного надлишку інших.

Для побудови обчислювальних алгоритмів вирішення задач структурної оптимізації, сформульованих як задачі дискретного програмування, доцільно використовувати такі групи методів: метод відсікання, комбінаторні методи, наближені методи.

Метод відсікання застосовується в разі, якщо цільова функція і функції обмежень є лінійними, задача є окремим випадком задач лінійного цілочислового програмування. Тому головною ідеєю цієї групи методів є використання в їх обчислювальній схемі алгоритмів розв'язання відповідних задач лінійного програмування. При цьому врахування цілочисельності призводить до появи нових додаткових обмежень і розширення загальної системи обмежень. Загалом ефективність розв'язання задач даного класу методами відсікання порівняно низька, оскільки зі збільшенням кількості змінних і обмеженнях задачі спостерігається збільшення кількості ітерацій, необхідних для відшукування оптимального розв'язку вихідної задачі синтезу структури атмосферно-оптичної системи.

Алгоритми, які будуються на основі використання ідеї методів відсікання, не гарантують отримання допустимого цілочислового вирішення до самої останньої ітерації, тому їх ефективне використання на практиці зазвичай є незручним, особливо для задач великої розмірності.

© Л. А. Кирпач, Н. В. Блаженний, О. І. Голубенко, 2021

Комбінаторні методи в процесі синтезу атмосферно-оптичної системи як методи розв'язання задач цілочислового лінійного програмування базуються на максимальному врахуванні характеру задач і кінцевій кількості їх розв'язків. В їх обчислювальних схемах використовується ідея часткового перебору варіантів вирішення задач. Це досягається завдяки відкиданню деяких підмножин варіантів, які згідно з відомими властивостями оптимального вирішення свідомо можна вважати неперспективними.

Відмітною особливістю комбінаторних методів під час синтезу атмосферно-оптичної системи є те, що в більшості з них взагалі не використовується вирішення задач лінійного програмування, відповідній початковій цілочислової задачі лінійного програмування. А отже, для більшості комбінаторних методів не потрібні спеціальні доведення їх скінченності, що сприяє широкому розмаху використання методів цього типу на практиці. Велика група комбінаторних методів базується в ідейному відношенні на досить загальній схемі методів, які об'єднані під однією назвою — методи «відгалужень і обмежень». Нині схема методу «відгалужень і обмежень» широко застосовується на практиці, і методи, які будуть на її використанні, посідають центральне місце серед комбінаторних методів.

Вирішення задачі щодо впливу радіоактивного випромінювання на приймачі АОЛЗ можливе в разі створення вхідних даних для методики, що мала б змогу враховувати етапність і тривалість за часом формування зони радіоактивного зараження, агрегатний склад суміші радіонуклідів аварійного викиду, енергетичні й активнісні характеристики цієї суміші і характеристики адсорбційно-десорбційної взаємодії суміші радіоактивних речовин із поверхнями пристроїв, а також особливості впливу наслідків на приймачі АОЛЗ.

Появу **наближених методів** під час синтезу атмосферно-оптичної системи зумовлено порівняною складністю реалізації точних методів, а частіше і просто неможливістю застосування останніх для задач великої розмірності і для задач, час розв'язання яких обмежений. Іншим стимулом, який на практиці сприяє розвитку наближених методів, є те, що для багатьох практичних задач значною мірою точні розв'язки не забезпечуються через малу вірогідність вихідних даних.

Серед наближених методів розв'язання цілочислових задач лінійного програмування слід виокремити застосування різного роду евристичних алгоритмів, заснованих на методах, побудованих на використанні випадкового пошуку, методах, що об'єднують випадковий пошук з ідеєю локальної оптимізації та методах, обчислювальні схеми яких будуються на максимальному врахуванні специфіки конкретних типів задач тощо.

Висновки

Оптимізація в процесі синтезу атмосферно-оптичної системи ґрунтується на показниках системи, які характеризують її ефективність особливо за умов впливу радіоактивного випромінювання. Розглянута формалізована постановка завдання синтезу атмосферно-оптичної системи відбиває її основні властивості з погляду виконання поставлених задач.

З огляду на широке практичне використання поставленого завдання та розглянутих методів розв'язання задач, до класу яких належать і задачі структурної оптимізації, зокрема синтез структури атмосферно-оптичної системи, у подальшому доцільно дослідити алгоритмічні схеми наведених методів.

Список використаної літератури

1. Беркман Л. Н., Стеклов В. К., Кільчицький Є. В. Оптимізація та моделювання пристроїв і систем зв'язку. Київ: Техніка, 2004. 576 с.
2. Зеленцов В. В., Казаковцев В. П. Основы баллистического проектирования искусственных спутников Земли: учеб. пособие. Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. 174 с.
3. Козелков С. В., Козелкова Е. С. Измерения орбитальных параметров КА наземным РТК // Системи обробки інформації. 2010. Вип. 2 (83). С. 100–102.
4. Використання узагальнених критеріїв при проектуванні супутникових систем / В. Ф. Фролов, Л. А. Кирпач, О. Ю. Ільїн, К. П. Сторчак // Зв'язок. 2018. № 1. С. 9–11.
5. Сторчак К. П. Методи інформаційно-технологічної побудови супутникової системи збору та обробки даних // Зв'язок. 2017. № 6 (130). С. 31–34.
6. Підвищення показників якості системи керування послугами мережами майбутнього / В. Б. Толубко, Л. Н. Беркман, Л. П. Крючкова, А. Ю. Ткачов // Наукові записки Укр. наук.-дослід. ін-ту зв'язку: електрон. версія журн. 2018. № 3. С. 5–11. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nzundiz_2018_3_3.

Л. А. Кирпач, Н. В. Блаженный, А. И. Голубенко
**ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА
АТМОСФЕРНО-ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Осуществлена постановка задачи структурного синтеза атмосферно-оптической системы и исследованы методы определения критериев эффективности атмосферно-оптических систем, что является одной из важнейших и существенных задач при их оптимизации.

Анализ методик оценки воздействия радиоактивного излучения на атмосферно-оптической линии связи (АОЛС) свидетельствует, что созданные до этих пор целостные методики оценивают влияние радиационных эффектов в элементной базе по воздействию только проникающей радиации.

Таким образом, наличие недостатков в существующих методиках не позволяет в полном объеме решить научную задачу по оценке воздействия радиоактивного излучения на приемники АОЛС как основы для разработки рекомендаций, направленных на сохранение значений выявляющей способности приемника в условиях воздействия радиоактивного излучения.

Решение такой задачи представляется возможным в случае создания входных данных для методики, которая имела бы возможность учитывать этапность и продолжительность по времени формирования зоны радиоактивного заражения, агрегатный состав смеси радионуклидов аварийного выброса, энергетические и активностные характеристики этой смеси и характеристики адсорбционно-десорбционного взаимодействия смеси радиоактивных веществ с поверхностями устройств, а также учитывала бы особенности влияния последствий на приемники АОЛС.

Формализовано постановку задачи синтеза атмосферно-оптической системы с определением характеристик вариантов структуры.

Ключевые слова: атмосферно-оптическая система; управление; алгоритм; показатель эффективности; функция; методы.

L. A. Kyrpach, N. V. Blazhennyi, O. I. Holubenko
**STATEMENT OF THE PROBLEM OF STRUCTURAL SYNTHESIS
OF A ATMOSPHERIC-OPTICAL SYSTEM**

The formulation of the problem of structural synthesis of a atmospheric-optical system is carried out and methods for determining the criteria for the effectiveness of atmospheric optical systems are investigated, which is one of the most important and essential problems in their optimization.

The analysis of methods for assessing the impact of radioactive radiation on FSO shows that the created holistic methods assess the impact of radiation effects in the element base on the impact of only penetrating radiation.

Thus, the presence of shortcomings in existing methods does not allow to fully solve the scientific problem of assessing the impact of radioactive radiation on the FSO receivers, as a basis for developing recommendations aimed at preserving the values of the detection ability of the receiver under the influence of radioactive radiation.

The solution of the problem is possible in case of creating input data for the method, which would be able to take into account the stages and duration of the formation of the zone of radioactive contamination, the aggregate composition of the mixture of radio nuclides, the energy and activity characteristics of this mixture and the characteristics of adsorption-desorption interaction of a mixture of radioactive substances with the surfaces of the devices, and would also take into account the peculiarities of the impact on the FSO receivers.

Formulation of the problem of synthesis of a telecommunication system with the definition of characteristics of structure options is formalized.

Keywords: atmospheric-optical system; control; algorithm; efficiency indicator; function; methods.